

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE



TRABAJO DE DIPLOMA

**RELACION DE LOS INCENDIOS FORESTALES CON LA
PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA Y APLICACIÓN A LOS
ESCENARIOS CLIMÁTICOS DE NICARAGUA PARA EL SIGLO XXI**

AUTOR: BR. DOUGLAS RODRIGUEZ ESQUIVEL

**ASESORES: MSc. LUCIA ROMERO
PhD. BRUNO RAPIDEL**

MANAGUA, NICARAGUA OCTUBRE 2000

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios que me ha prestado la vida para engrandecerlo y a mis padres que me han enseñado y guiado.

Al proyecto Cambios Climáticos del MARENA por la ayuda económica para realizar este trabajo.

A la Universidad Nacional Agraria por el apoyo académico y la oportunidad para realizar el trabajo.

A Ing. Luis Valerio por la asesoría prestada para este trabajo.

A Ing. Lucía Romero por la tutoría y su valiosa ayuda en la elaboración del documento.

En el Departamento de Sistemas de Información de Biodiversidad a los Sres. Antonio Ramos y Freddy Uriarte por la ayuda técnica en el proceso de la información sobre incendios y por los conocimientos adquiridos sobre Sistemas de Información Geográfica.

A INETER por proporcionarme los datos meteorológicos utilizados en esta tesis.

A PhD. Bruno Rapidel por su ayuda incondicional y apoyo en todo el proceso de elaboración de este trabajo.

A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron con este trabajo.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Bosques, variaciones climáticas e incendios forestales	4
2.2. Aspectos sociales y económicos de los incendios forestales	6
2. 3. Monitoreo de los incendios forestales	7
2. 3. 1. La detección de fuegos con NOAA-AVHRR (PFA, 1998)	7
2. 3. 2 Limitaciones de los datos del AVHRR (Ciesla, 1997)	9
III. MATERIALES Y METODOS	11
3.1 Etapa preparatoria	11
3.1.1. Selección de zonas para el estudio.	11
3.1.2. Definición del período a analizar	13
3.1.3. Definición de variables a evaluar	13
3.2. Etapa de Reconocimiento de la Información Disponible	13
3.3. Etapa de Recolección de Información	13
3.4. Etapa de Gabinete	14
3.4.1. Procesamiento de la información del Proyecto NOAA/MARENA	14
3.4.1.1. Procesamiento y Edición de los mapas a utilizar.	14
3.4.1.2. Procesamiento de datos de puntos de calor capturados por el satélite NOAA/AVHRR.	15
3.4.1.3 Corrección de los datos de puntos de calor.	17

3.4.2. Procesamiento de la información de los datos meteorológicos.	18
3.4.3 Análisis estadístico	20
3.4.3.1 Consideraciones para el procesamiento de los datos.	20
3.4.3.2. Análisis de correlación y de regresión	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	22
4.1. Cuantificación de incendios forestales en el período 1996-1999	22
4.2. Análisis de correlación entre variables.	26
4.3. Análisis de Regresión	32
4.4. Aplicación del modelo a los Escenarios Climáticos	38
V. CONCLUSIONES	41
VI. RECOMENDACIONES	42
VII. BIBLIOGRAFIA	43
ANEXOS	44

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de Nicaragua con las zonas de estudio</i>	12
<i>Figura 2. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1996.</i>	23
<i>Figura 3. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1997</i>	24
<i>Figura 4. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1998.</i>	24
<i>Figura 5. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1999.</i>	25
<i>Figura 6. Gráfico de relación de la densidad de incendios y precipitación acumulada para tres meses en la RAAN.</i>	28
<i>Figura 7. Gráfico de relación de la densidad de incendios y temperatura para la RAAN.</i>	28
<i>Figura 8. Comparación de los valores de logaritmo</i>	37
<i>Figura 9. Gráfico de los valores de número de incendios para tres escenarios climáticos</i>	40

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Número de incendios forestales contabilizados en el período 1996-1999.</i>	22
<i>Tabla 2. Resultados del análisis de regresión por el método "stepwise".</i>	32
<i>Tabla 3. Resultados de la regresión para las zonas de estudio utilizando las variables PP3 y T1.</i>	34
<i>Tabla 4. Modelo de regresión utilizando los datos de Nueva Segovia, Río San Juan y RAAN.</i>	36
<i>Tabla 5. Modelo de regresión utilizando los datos de Río San Juan y RAAN.</i>	36
<i>Tabla 6. Modelo de regresión generado para corrección de datos.</i>	37
<i>Tabla 7. Datos de Densidad de Incendios y Número de Incendios calculados para los escenarios</i>	39

INDICE DE ANEXOS

Temperatura y Precipitaciones pronosticadas de acuerdo a los escenarios climáticos basados en un período de referencia de 1971 –1988.

Gráficos de comportamiento de la precipitación, temperatura y número de incendios.

RESUMEN

Para estudiar la posible evolución de los incendios forestales en función del cambio climático, se ha intentado en una primera etapa, relacionar la frecuencia de incendios con las variaciones de precipitación y de temperatura en cuatro zonas forestales de Nicaragua.

Los incendios fueron medidos durante 4 años (1996-1999) con el sensor remoto NOAA/AVHRR. Cada punto de calor detectado en una imagen se contabiliza como un incendio. Los datos de precipitación y temperatura fueron recogidos de estaciones meteorológicas representativas de las zonas consideradas.

La relación entre incendios y variables meteorológicas es baja si se considera el conjunto de las zonas ($R^2=0.25$). En cambio, para las zonas de la región Atlántica de Nicaragua, donde se contabilizan el 91% de los incendios totales, existe una buena relación entre los incendios y las precipitaciones acumuladas durante los tres meses anteriores a la toma de la imagen ($R^2=0.602$), así como con la temperatura media del mes de la toma de la imagen ($R^2=0.667$).

El análisis de regresión entre el logaritmo neperiano de la densidad de incendios en la zona Atlántica y las variables precipitación de tres meses y temperatura permite explicar el 64% de la varianza de los datos observados.

La relación obtenida se aplica a los escenarios de cambio climático para el siglo 21 para proyectar la evolución probable de las densidades de incendio en el futuro.

Summary

In order to study the possible evolution of forest fires based on the climatic change, it has been tried in one first stage, to relate the fire frequency to the variations of precipitation and temperature in four forest zones of Nicaragua.

The fires were measured during 4 years (1996-1999) with remote sensor NOAA/AVHRR. Each heat point detected in an image is entered like a fire. The data of precipitation and temperature were gathered of representative meteorological stations of the considered zones.

The relation between fires and meteorological variables is low if the assembly of the zones is considered ($R^2=0.25$). However, for the zones of the Atlantic region of Nicaragua, where 91% of total fires are entered, a good relation between fires and accumulated precipitations exists during the three months previous to the taking of the image ($R^2=0.602$), as well as with the average temperature of the month of the taking of the image ($R^2=0.667$).

The regression analysis between the neperiano logarithm of the density of fires in the Atlantic zone and the variables precipitation of three months and temperature allows to explain 64% of the variance of the observed data.

The obtained relation is applied to the scenes of climatic change for century 21 to project the probable evolution of the densities of fire in the future.

I. INTRODUCCIÓN

El Calentamiento Global ha sido algo normal a lo largo de la formación de nuestro planeta, pero este proceso de calentamiento ha sido acelerado considerablemente por el hombre, ya que algunas actividades como la quema de combustibles fósiles, la transformación de los bosques en terrenos agrícolas, la fabricación de cemento, la quema de las plantas y los árboles y otras actividades que han tenido lugar a gran escala desde el inicio de la Revolución Industrial a mediados del siglo XVIII han aumentado la concentración de los llamados "Gases de Efecto Invernadero". (GEI).

El aumento de los GEI acelera el calentamiento atmosférico global ocasionando un Cambio Climático que prevé, entre otros fenómenos, modificaciones en el patrón de repartición de lluvias y un aumento gradual en la temperatura de la tierra y se espera que por este efecto se de una mayor frecuencia e intensidad de incendios forestales y una prolongación de la estación del año en que éstos ocurren en áreas susceptibles.

Nicaragua tiene una topografía variada caracterizada por picos volcánicos, lagos y extensos llanos en la Región Pacífica, montañas altas y escarpadas en el centro del norte de la Región Central y una extensa planicie costera en la Región Atlántica. Esta topografía variada tiene una influencia en el clima local, la vegetación natural, los patrones del uso de tierras por poblaciones humanas y finalmente, en la ocurrencia y severidad de los incendios forestales.(Ciesla, 1997).

La situación anterior, acompañada por el creciente asentamiento humano en áreas de bosques tropicales del país, reflejado en un incremento en las actividades de quema agrícola, pone al ecosistema forestal en peligro de daños por incendios descontrolados.

Debido a las consecuencias sociales, económicas y ecológicas que acarrear consigo los incendios forestales, nace la idea de investigar qué comportamiento tendrán estos con el Cambio Climático.

Para éste caso se analizo si existe una relación entre las condiciones meteorológicas registradas en un período de tiempo y el número de incendios forestales registrados para ese mismo período en cuatro regiones forestales del país, bajo el supuesto que en años más secos y calientes hay mayor frecuencia de incendios forestales que en años más lluviosos y menos calurosos, haciendo una relación entre estas variables a fin de determinar si es significativa. Esto fue posible utilizando el registro de incendios forestales detectados por el satélite NOAA y los valores de temperatura y precipitación registrados por INETER para un período de tiempo comprendido entre 1996-1999.

El propósito es brindar elementos de predicción de incendios forestales en sitios considerados vulnerables proporcionando indicadores climáticos que permitirían dar prioridad a esas áreas al pronosticar situaciones que pueden resultar por la variación climática o bien ser aplicados a futuros escenarios climáticos ya elaborados para Nicaragua. (Marena, 2000)

OBJETIVOS

Objetivo General

- ❑ Determinar la relación existente entre las variables climáticas temperatura y precipitación con la ocurrencia de incendios forestales en cuatro regiones forestales de Nicaragua en el período 1996-1999 a fin de generar un modelo para la predicción de incendios forestales basado en escenarios climáticos.

Objetivos Específicos

- ❑ Cuantificar la ocurrencia de incendios forestales en cuatro regiones forestales de Nicaragua en el período 1996-1999.
- ❑ Valorar las relaciones existentes entre las variables temperatura, precipitación e incendios en cuatro regiones forestales de Nicaragua en el período 1996-1999.
- ❑ Proyectar la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales con base en escenarios climáticos elaborados con las variables temperatura y precipitación.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Bosques, variaciones climáticas e incendios forestales

Las áreas boscosas a escala mundial han venido disminuyendo drásticamente por efecto de muchos factores bióticos y abióticos que han puesto en peligro de extinción a muchos ecosistemas junto con la biodiversidad que contienen.

Uno de los factores más importantes de destrucción de los bosques son los incendios forestales que en su mayoría son ocasionados por la mano del hombre al realizar quemas agrícolas no controladas.

Ante este factor de destrucción los bosques latifoliados en comparación con los de coníferas son más susceptibles dada la delgadez de la corteza y a que la mayoría de las especies del banco de semillas del suelo resisten menos las altas temperaturas generadas por este fenómeno. Por otra parte en los bosques de coníferas el fuego ayuda en su establecimiento y mantenimiento al eliminar otras especies menos resistentes a los incendios y al ayudar a que los conos se abran y liberen la semilla. (Rodríguez, 1996).

Algunos bosques tropicales están sujetos a sequías prolongadas, estas sequías pueden cambiar drásticamente las condiciones de combustión y de inflamabilidad de la vegetación. Cuando las precipitaciones son menores a 100 mm al mes y hay períodos de dos o más semanas sin lluvia, la vegetación forestal se despoja progresivamente de su follaje debido a un progresivo aumento del estrés causado por la sequía. Además, el contenido de humedad de los combustibles de la superficie disminuye mientras que el material leñoso que cae y la acumulación de hojas en el suelo contribuyen al aumento y a la propagación de los incendios de superficie. Los combustibles aéreos como las enredaderas y lianas disecadas, se transforman en escaleras de fuego que lo conducen hacia las copas de los árboles. Son estas condiciones las que prestan las condiciones para los incendios. Por consiguiente, podrían aumentar la frecuencia de los grandes incendios. (Ciesla, 1996).

Los incendios están causando cambios climáticos y de vegetación a largo plazo. En la Amazonia Este y Sur, los árboles están al borde de su capacidad para mantenerse verdes en la temporada de sequía, sumando así más posibilidades de combustión. El fuego es ahora una amenaza tan peligrosa para la integridad biológica del Amazonas como lo es la deforestación. Este patrón es constante en todo el mundo. En Colombia en 1997 se declararon más de siete mil incendios y el Mediterráneo tuvo una temporada de fuegos particularmente severa. En África, las quemaduras dañaron muchos bosques e importantes áreas protegidas. Cientos de incendios se dieron cita también en Australia, como resultado de una severa sequía causada por El Niño. Varias personas que trabajaban en su extinción murieron en las operaciones de combate. Durante 1998 se desataron pavorosos incendios en el norte de Brasil y muchas zonas de Venezuela, México y América Central. (Dudley, 1999)

Aun cuando se considera que la ocurrencia de incendios es producto de la actividad del hombre cabe mencionar que su frecuencia e intensidad también puede ser atribuida a variaciones ambientales.

Estas variaciones ambientales producto del Calentamiento Global han sido algo normales a lo largo de la formación de nuestro planeta, pero este proceso de calentamiento ha sido acelerado considerablemente por el hombre, ya que algunas actividades como la quema de combustibles fósiles, la transformación de los bosques en terrenos agrícolas, la fabricación de cemento, la quema de las plantas y los árboles y otras actividades que han tenido lugar a gran escala desde el inicio de la Revolución Industrial a mediados del siglo XVIII han aumentado la concentración de los llamados "Gases de Efecto Invernadero". (GEI).

El aumento de los GEI acelera el calentamiento atmosférico global ocasionando un Cambio Climático que prevé, entre otros fenómenos, modificaciones en el patrón de repartición de lluvias y un cambio gradual en la temperatura de la tierra.

Así como la estructura, la composición y la biomasa de los bosques responderán a los cambios climáticos, así también sucederá con el comportamiento del fuego. (Ciesla, 1997).

El contenido de humedad del material muerto en el piso del bosque cambia día a día, y más importante que el comportamiento del fuego una vez iniciado está completamente relacionado al contenido de humedad.

Las fluctuaciones de humedad del combustible son controladas por elementos del tiempo. Obviamente un aguacero puede incrementar el contenido de humedad y el tiempo seco puede disminuirlo.

La temperatura es un factor cambiante constantemente que influencia no sólo la temperatura e inflamabilidad del combustible sino también otros factores importantes del tiempo. Uno de estos es la humedad del aire o la cantidad de vapor de agua contenido en el aire. (Chandler y Craig, 1983)

Las temporadas severas de fuegos han sido asociadas con sequías periódicas y tienden a ocurrir en ciclos.

2.2. Aspectos sociales y económicos de los incendios forestales

Las repercusiones económicas y sociales por el incremento en la frecuencia e intensidad de incendios han sido considerables en el área centroamericana.

En el área Centroamericana para 1998 se calcula que los incendios afectaron 449,922 ha de bosques y 653,318 áreas agropecuarias, los países más afectados por orden fueron Nicaragua, Guatemala, Honduras, Panamá, Costa Rica, Belice y El Salvador. Los incendios tuvieron efectos económicos directos sobre los bosques afectados, así como un efecto a más largo plazo sobre las áreas agrícolas y ganaderas quemadas.

En el Petén, Guatemala el precio del quintal de maíz subió de \$6.7 a \$15 debido a la escasez provocada por los incendios y la suspensión de vuelos provocó pérdidas estimadas en 2.9 millones de dólares. En Honduras aumentaron en un 40 % las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, con cerca de 87,000 casos, el cierre de 10 días del

aeropuerto originó pérdidas de 350,000 dólares para 3 líneas aéreas comerciales. En El Salvador el cierre del aeropuerto por 2 días produjo pérdidas estimadas en 8.5 millones de dólares y en la atención de 15,000 niños con enfermedades respiratorias y cardiovasculares se gastó 1 millón de dólares. El costo de combustible gastado por los bomberos para apagar incendios fue de 56,400 dólares en 2 meses. En Panamá se estima se perdieron 5.3 millones de dólares por la quema de plantaciones forestales.(PFA, 1998)

En Nicaragua aumentaron en 400,000 los casos registrados de problemas respiratorios, con un costo estimado de 24 millones de dólares sólo en servicios de salud, se reportaron 15,196 incendios y se calculan pérdidas económicas del orden de poco más de los 14 millones de dólares, de estos más de 12 millones corresponden a pérdidas por la quema de los bosques. El año 1998 registró en Nicaragua el mayor número de incendios desde 1985 y fue el área más afectada de la región Centroamericana con un área quemada de 396,463.64 Ha de las cuales 161,685.44 Ha corresponden a los bosques. (Proyecto NOAA/MARENA, 1998).

Si se estableciera el mercado de carbono, se puede valorar el carbono emitido en aproximadamente 200 toneladas de carbono por Ha de bosque y si se vende a \$ 10.00 la tonelada, representó una pérdida potencial de 323 millones de dólares.

2. 3. Monitoreo de los incendios forestales

El monitoreo de los incendios forestales ocurridos en Nicaragua desde el año 1996 se ha realizado por medio de un sistema de detección a través de los satélites NOAA 12 y NOAA 14.

2. 3. 1. La detección de fuegos con NOAA-AVHRR (PFA, 1998)

Los satélites NOAA miran parte de la Tierra desde una altitud de más o menos 860 Km., y tienen una resolución de imagen de 1 Km² (correspondiente al tamaño del píxel). El sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer, Radiómetro Avanzando de Muy Alta Resolución) a bordo es de cinco canales con diferentes características espectrales

(espectro de lo visible, infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano). El sensor AVHRR fue diseñado originalmente para aplicaciones meteorológicas y atmosféricas, pero se han desarrollado algoritmos especiales para la detección de fuegos. Los dos canales infrarrojos térmicos (3 y 4) son los más indicados para la detección de fuegos.

El proceso de detección de fuegos se basa en las medidas de temperatura de superficie del canal 3. Un píxel es detectado como píxel de fuego o como punto de calor cuando el canal 3 está saturado por una temperatura específica. Para evitar falsas alarmas en la detección, debidas a altas temperaturas del fondo (el suelo), nubes muy reflexivas o reflexión solar en el agua, el software del satélite utiliza varios test en horas diurnas y nocturnas (umbrales múltiples).

Este sistema de detección de fuegos es un sistema objetivo, barato y fiel (ya que los datos arrojados son los mismos desde cualquier punto de la tierra) mientras que los sistemas de tierra son más precisos en áreas pobladas que en zonas inhabitadas, donde nadie reporta los eventuales incendios.

2. 3. 2 Limitaciones de los datos del AVHRR (Ciesla, 1997)

A pesar del potencial del AVHRR para la detección de incendios forestales, la tecnología tiene limitaciones que deben ser consideradas. Estas incluyen:

- ❑ Los satélites NOAA no proporcionan cobertura continua. Asumiendo que hay dos satélites en operación, se realizan 4 pasadas por cada área de la superficie de la tierra cada 24 horas; dos durante el día y dos durante la noche. Estas proporcionan una muestra o fotografía instantánea de las condiciones de incendio sobre un área especificada. Los otros satélites climatológicos (por ejemplo el GOES) tienen órbitas geoestacionarias que pueden proporcionar datos a intervalos de 30 minutos, pero carecen de la resolución espacial y espectral del instrumento AVHRR.
- ❑ Los bajos umbrales de saturación de las bandas 3 y 4 del NOAA AVHRR causan una alta incidencia de error de comisión a causa de las reflexiones de nubes y suelos calientes. La saturación de las señales de suelo puede potencialmente introducir más eventos de incendios pero también inhibe la detección de incendios reales en áreas donde existe una alta saturación. Estos errores pueden ser disminuidos a través del uso de algoritmos contextuales que combinan datos de varios canales.
- ❑ El NOAA AVHRR observa eventos individuales de incendios como puntos de calor y no puede distinguir diferentes tipos de incendios (prescritos, descontrolados, agrícolas, forestales) sin información adicional.
- ❑ El NOAA AVHRR es incapaz de penetrar capas de nubes. Los periodos prolongados de clima nublado pueden afectar seriamente la habilidad de detección de incendios, aunque se necesitan más estudios para demostrar si un número significativo de incendios pasan inadvertidos a causa de la capa de nubes.

- Los puntos luminosos indican la existencia de un incendio. Los datos termales del NOAA AVHRR no pueden estimar el número de incendios ardiendo o estimar el tamaño relativo del incendio.

Un píxel de fuego o punto de calor define un área de $1,1 \text{ Km}^2$. lo que significa que dentro de esa área se detecto uno o varios fuegos. Por lo tanto, con un punto de calor no se indica ni la cantidad ni el tamaño de los fuegos.

Podría haber uno o mas fuegos en la zona de $1,1 \text{ Km}^2$. Las coordenadas del punto de calor representan el centro del píxel de fuego y no son las coordenadas reales del fuego in situ. Los fuegos podrían estar ubicados en un radio de 500 m alrededor de las coordenadas, tomadas como centro. Además es extremadamente difícil garantizar un buen registro sucesivo del píxel o de la imagen: las coordenadas de un punto de calor pueden llegar a tener un error promedio de 7 a 10 Km. en su precisión. Este satélite sirve mas que todo como sistema de alerta de fuegos y los localiza de manera aproximada.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Etapa preparatoria

3.1.1. Selección de zonas para el estudio

Se eligieron cuatro zonas forestales de Nicaragua de acuerdo a diversos criterios referidos a continuación: (Fig. 1)

Cordillera de los Maribios: Se eligió esta área por cuanto posee uno de los últimos residuos de bosque seco que quedan en la zona occidental de Nicaragua. La zona presenta una alta intervención humana por lo que corre riesgo de incendios.

RAAN: Se eligió el sector ubicado por debajo de la latitud 1571487.09 UTM. La región tiene la mayor extensión de bosques de latifoliadas, pinos y mangles (en comparación con la RAAS) por lo que tiene una importancia económica muy significativa para el país. Equivale al 47% del territorio Nacional y en ella se encuentran una diversidad de formaciones forestales. Otro criterio para su elección es que la dirección de avance de la frontera agrícola amenaza esta zona.

Río San Juan: Una zona de gran importancia económica y ecológica porque cuenta con recursos forestales en considerable extensión y en ella se encuentran varias reservas y parques nacionales. Es una área que ha presentado una gran cantidad de incendios (en 1992 una serie de incendios quemó más de 90 mil Ha de bosques) resaltando la necesidad de prevención de este fenómeno y haciéndola elegible para el estudio. Al igual que la zona de la RAAN cobra importancia por el avance la frontera agrícola dentro de esta zona.

Nueva Segovia: Presenta entre 60 y 70 mil ha de bosques de pino y al menos hay 26 empresas madereras localizadas en este territorio que dependen de este recurso. En esta región los incendios descontrolados son considerados como un grave problema. En la zona también se desarrolla el cultivo del café, un rubro de importancia económica para nuestro país. Teniendo en cuenta que el café se encuentra en asociación con cobertura forestal nativa de bosques latifoliados se espera un mayor interés de los pobladores en el tema de los incendios.

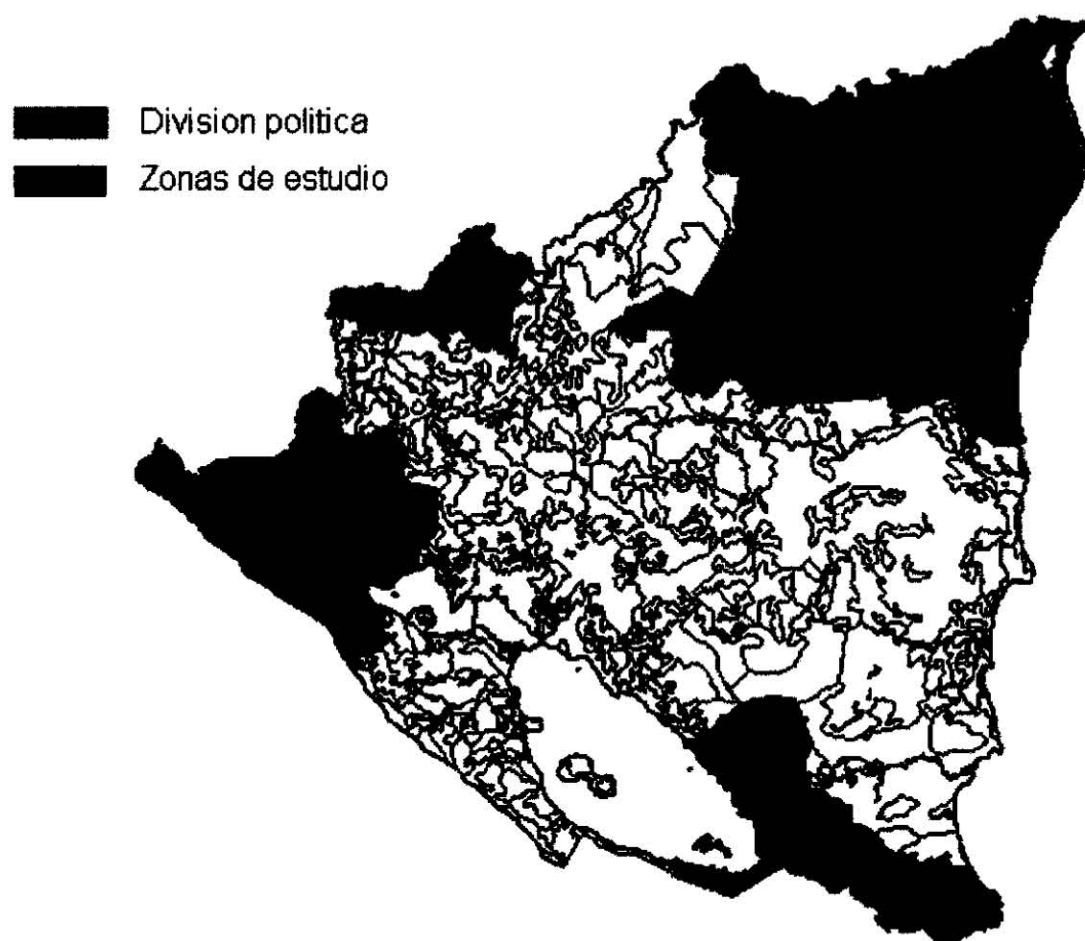


Figura 1. Mapa de Nicaragua con las zonas de estudio

3.1.2. Definición del período a analizar

Se eligió el periodo comprendido entre 1996-1999 porque se utilizaron los datos de detección de incendios proporcionados por el proyecto NOAA/MARENA a partir del año 1996 en que empezó el monitoreo de incendios por medio de este sistema en Nicaragua. Por la misma razón los datos climáticos comprenden el mismo periodo.

3.1.3. Definición de variables a evaluar

- ☐ Numero de incendios forestales en las zonas de estudio
- ☐ Temperatura promedio en las zonas de estudio
- ☐ Precipitación promedio en las zonas de estudio

3.2. Etapa de Reconocimiento de la Información Disponible

Consistió en un sondeo para conocer la cantidad, calidad y disponibilidad de información necesaria para desarrollar el trabajo según los objetivos y variables a evaluar.

3.3. Etapa de Recolección de Información

Con base en la etapa anterior se recolectaron en las siguientes instituciones:

INETER: Datos sobre las Precipitación y Temperatura registradas para los años 1996-1999 en las estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas de estudio.

Proyecto NOAA/MARENA: Reportes y capturas de los puntos de calor detectados por el Satélite NOAA en las zonas de estudio en el período de 1996-1999.

Mapa político de Nicaragua

Mapa Forestal de Nicaragua

3.4. Etapa de Gabinete

3.4.1. Procesamiento de la información del Proyecto NOAA/MARENA

3.4.1.1. Procesamiento y Edición de los mapas a utilizar

En el trabajo se utilizaron los siguientes mapas digitalizados: Mapa Político de Nicaragua y Mapa Forestal de Nicaragua.

En el Mapa Político de Nicaragua con el módulo ARCEDIT del programa ARCINFO se procedió a eliminar polígonos y etiquetas de áreas que no eran de interés dejando únicamente las de las zonas en estudio.

El Mapa Forestal de Nicaragua, fue modificado con ayuda del programa ARCVIEW y ARCINFO. Con el programa ARCVIEW se procedió a abrir el mapa referido; (este mapa se encuentra en cobertura de ARCINFO) para poder modificarlo con el programa ARCVIEW se hace necesario convertirlo a "shape file", lo que se hace desde el mismo programa con un comando que se encuentra en el menú desplegable. Una vez que el mapa se encuentra como "shape file", utilizando las herramientas de edición que provee el programa, se eliminaron los polígonos que no correspondían a las áreas de interés, luego se eliminaron del mapa todos los polígonos restantes que no correspondían, según la etiqueta del mapa a zonas boscosas o forestales. Una vez guardado este mapa se utilizó el comando "shapearc" del programa ARCINFO para convertirlo nuevamente a cobertura de ARCINFO. El resultado de esta operación fue el Mapa de las áreas boscosas en las zonas de interés.(área verde del mapa presentado en la figura 1).

De esta forma se considera que todos los puntos de calor detectados y contabilizados dentro de estas áreas boscosas específicas corresponden a incendios forestales y no a otros tipos de fuegos.

3.4.1.2. Procesamiento de datos de puntos de calor capturados por el satélite NOAA/AVHRR

Un paquete de datos comprende 2 archivos de IDRISI (uno con extensión dvc y otro con extensión vec) para cada toma o captura realizada. El nombre del archivo proporciona la fecha de la captura.

Para el procesamiento de estos archivos se utilizaron programas de cómputo que sirven para el análisis de información geográfica. Los programas utilizados fueron IDRISI, ARCINFO, ARCVIEW y ERDAS.

El programa IDRISI fue el primero que se utilizó para comenzar a crear la base de datos con que se trabajó. Para cada año se leyó o abrió con el programa cada captura proporcionada. Del programa IDRISI se utilizaron 3 módulos en el siguiente orden, Project, Convert y Export. Los tres módulos son aplicados a cada captura y se obtiene como producto un nuevo archivo en formato “dxf” para cada captura.

Una vez que se tiene el archivo en formato “dxf” se procedió a utilizar el Programa de Cómputo ARCINFO. A cada archivo “dxf” generado del procedimiento anterior se le aplicaron los siguientes módulos del programa ARCINFO:

Dxfarc: convertir el archivo con formato “dxf” en una cobertura de ARCINFO.

Build: crear una tabla de atributos para una cobertura y definir una tipología de puntos.

En este momento se procedió a hacer un corte a cada una de las coberturas con el Mapa de las áreas boscosas en las zonas de interés. Para este propósito se utilizó el comando “Clip”

Clip: hace un corte de una cobertura (en este caso, cada captura) con otra cobertura (corresponde al Mapa de las áreas boscosas en las zonas de interés).

Una vez realizada esta acción quedan en cada cobertura solamente los puntos de calor que están situados dentro de las áreas boscosas en las zonas de interés.

Con el objetivo de no perder la fecha de cada punto de calor y tener un mejor control de los puntos de calor al momento de filtrar los datos, en el programa ARCVIEW se editó la tabla de atributos de cada cobertura y se le agregaron tres columnas etiquetadas Día, Semana, Mes, luego cada columna se llenó con la información correspondiente, de esta forma cada punto de cada cobertura tiene la fecha de captura.

Las coberturas resultantes fueron interceptadas con el Mapa de las áreas boscosas en las zonas de interés con el fin de añadir a las coberturas las etiquetas de dicho mapa, esto también ayudó a filtrar los datos. El comando de ARCINFO aquí utilizado es el Intersect.

Intersect: calcula la intersección de dos coberturas.

El siguiente paso consistió en unir todas las coberturas diarias que corresponden a un mismo mes y a un mismo año para generar archivos mensuales. Para este propósito se utilizó el comando Append del grupo de comandos del programa ARCINFO.

Append: unir varias coberturas para formar una sola.

Las coberturas mensuales se leyeron con el programa ERDAS para obtener las coordenadas de cada punto de calor, luego se guardó el archivo con formato Excel. Los archivos mensuales en formato Excel se unieron para formar archivos anuales. Con estos archivos mensuales se procedió a crear la base de datos con que se trabajó.

Las coberturas de cada año se trabajaron por separadas, esto significa que no se mezclaron en ningún momento los archivos correspondientes a diferentes años.

Como producto se obtuvo el número de puntos de calor para cada área de trabajo, por mes y por año.

3.4.1.3 Corrección de los datos de puntos de calor

Debido a que las capturas de datos por el sistema NOAA/AVHRR no ocurrieron sistemáticamente todos los días, se procedió a mejorar la calidad de los datos utilizando el siguiente procedimiento.

Con el producto obtenido en el paso anterior y con el número de tomas o capturas que hubieron para cada mes en todos los años de estudio se pondero para un mes estándar de 30 días usando la siguiente formula.

$$PCC = (NPC \times 30) / NCM$$

Donde:

PCC: Puntos de calor corregidos para un mes específico

NPC: Número de puntos de calor detectados en el mes específico

NCM: Número de capturas realizadas en el mes específico

Por otra parte debido a que las zonas de estudio tienen marcadas diferencias en extensión se optó por trabajar con los datos de densidad de puntos de calor corregidos para una área de 100 Km² para lo cual se utilizo la siguiente formula.

$$DPC = (PCC / AZE) \times 100$$

DPC: Densidad de puntos de calor corregidos

PCC: Puntos de calor corregidos para un mes específico

AZE: Area en Km² de la zona en estudio

De estos dos procedimientos se obtuvo el dato de Densidad de puntos de calor homogeneizados para una zona y un mes específico, los que sirvieron de insumo para el análisis estadístico.

3.4.2. Procesamiento de la información de los datos meteorológicos

Se eligieron las estaciones meteorológicas disponibles en las áreas bajo estudio y se utilizaron los datos de precipitación y temperatura mensuales para cada año analizado. En total para las cuatro zonas de estudio se utilizaron datos de precipitación de 13 estaciones y datos de temperatura de 5 estaciones.

Para construir la base de datos se dividieron las áreas de estudio en dos cuadrantes Este y Oeste, excepto en los Maribios ya que su área es relativamente pequeña. La división en cuadrantes se hizo para llevar a un nivel más localizado el estudio tomando en consideración las variantes geográficas y climáticas de las zonas.

En la RAAN no se tomo en cuenta toda el área sino solamente la zona ubicada en una latitud menor a 1571487.09 UTM. Esto obedeció a que no hay estaciones meteorológicas que brinden datos para la zona con latitud mayor a la antes referida para el período de estudio.

Debido a que las estaciones meteorológicas que proporcionaron los datos de precipitación tenían datos faltantes se utilizó un procedimiento estadístico para completar la información y trabajar con datos de mayor calidad. Para completar datos se calculó la ecuación de la línea de tendencia en el programa Excel partiendo de los datos disponibles en la estación incompleta y los datos completos de la estación más próxima a ella.

Para calcular la temperatura en las estaciones donde no habían datos disponibles se utilizó la formula del gradiente adiabático. Este consiste en calcular la temperatura de un lugar de acuerdo a la diferencia de altitud con respecto a otro lugar cercano donde se conoce la temperatura. Se utilizo la siguiente formula:

$$T_2 = T_1 + 0.65 (H_1 - H_2)/100$$

T_2 : Temperatura desconocida

T_1 : Temperatura conocida

H_1 : Altura del sitio con temperatura conocida

H_2 : Altura del sitio con temperatura desconocida

De este procedimiento se obtuvieron los datos completos de precipitación y temperatura de cada estación meteorológica en cada zona. Estos datos se promediaron para obtener la temperatura y precipitación promedios por mes en cada año. Los datos promedios acumulados de precipitación para las zonas se ponderaron para un mes de 30 días.

Con miras a aplicar un modelo de regresión a escenarios climáticos previamente elaborados, se utilizaron datos de 18 años en cinco estaciones meteorológicas que se considera representan las precipitaciones y temperaturas de la vertiente caribe de Nicaragua. Los datos de estas cinco estaciones se procesaron de igual manera que los anteriores.

3.4.3 Análisis estadístico

3.4.3.1 Consideraciones para el procesamiento de los datos

Los datos de precipitación con que se decidió trabajar corresponden a los valores promedios por mes, acumulados para dos meses (el mes referido y el anterior) y acumulados para tres meses (el mes referido, el anterior y el trasanterior). Esto se hizo bajo el supuesto de que la humedad del combustible depende no solamente de las condiciones del mes sino también de las condiciones climáticas de los meses anteriores.

Los datos de temperatura con que se decidió trabajar corresponden a los valores promedios por mes, acumulados para dos meses (el mes referido y el anterior) y acumulados para tres meses (el mes referido, el anterior y el trasanterior). Esto se hizo bajo el supuesto de que la humedad del combustible depende no solamente de las condiciones del mes sino también de las condiciones climáticas de los meses anteriores.

Para efectos de identificación, las variables se simbolizan de la siguiente manera:

Temperatura del mes: T_1

Temperatura acumulada de dos meses: T_2

Temperatura acumulada de tres meses: T_3

Precipitación del mes: PP_1

Precipitación acumulada de dos meses: PP_2

Precipitación acumulada de tres meses: PP_3

Densidad de incendios: DI

3.4.3.2. Análisis de correlación y de regresión

Con los datos de DI derivados del proceso anterior y con los datos meteorológicos de temperatura y precipitación, se procedió a hacer en primer término un análisis de correlación entre esas variables para determinar el grado de relación existente entre ellas. Para este efecto se utilizó el índice de correlación de Pearson.

Posteriormente se corrió un modelo general de regresión lineal tomando como variable dependiente DI y como variables independientes la precipitación y la temperatura.

Todos los procedimientos se realizaron utilizando los programas estadísticos SYSTAT y SPSS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Cuantificación de incendios forestales en el período 1996-1999

Los datos reflejados en la tabla 1, son el resultado del proceso de interpretación y transformación de las imágenes de puntos de calor captadas por el satélite NOAA, las cuales después del proceso que se describió en la metodología proporcionaron el número estimado de incendios forestales que ocurrieron en las áreas seleccionadas durante el período de estudio.

Tabla 1. Número de incendios forestales contabilizados en el período 1996-1999.

Año	Mes	Maribios	Nueva Segovia		RAAN		RIO SAN JUAN	
			Este	Oeste	Este	Oeste	Este	Oeste
1996	1	8	0	0	9	0	0	0
	2	34	3	0	33	6	0	0
	3	17	41	2	136	48	17	8
	4	11	176	88	618	325	292	130
	5	3	4	49	0	773	6	41
	SubTotal	73	224	139	796	1152	315	179
1997	1	10	0	0	2	5	0	0
	2	11	0	1	9	18	1	0
	3	23	3	12	79	68	6	7
	4	11	2	15	245	50	102	4
	5	15	126	0	1136	2	587	0
	6	4	19	3	222	20	18	1
	SubTotal	74	150	31	1693	163	714	12
1998	1	11	57	9	118	12	49	0
	2	3	75	23	1041	430	429	89
	3	1	2	14	0	278	31	51
	4	5	0	0	0	3	0	1
	5	1	0	0	1	1	0	1
	SubTotal	21	134	46	1160	724	509	142
1999	2	0	2	0	14	8	11	0
	3	8	1	1	55	2	51	4
	4	10	22	7	1683	122	397	41
	5	1	10	3	182	119	25	9
	SubTotal	19	35	11	1934	251	484	54
	Total	187	543	227	5583	2290	2022	387




El área donde se determinó mayor cantidad de incendios en todo el período de estudio fue la RAAN y en la que se determinaron menos fue Los Maribios, esta diferencia en número está explicada porque el área estudiada de la RAAN fue mayor que la de los Maribios.

En el período estudiado en todas las áreas se cuantificaron un total de 11, 239 incendios forestales.

A continuación se presentan los mapas de puntos de calor anuales generados para los cuatro años de estudio.



Figura 2. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1996.

-  Puntos de calor
-  Zonas de estudio
-  Division politica

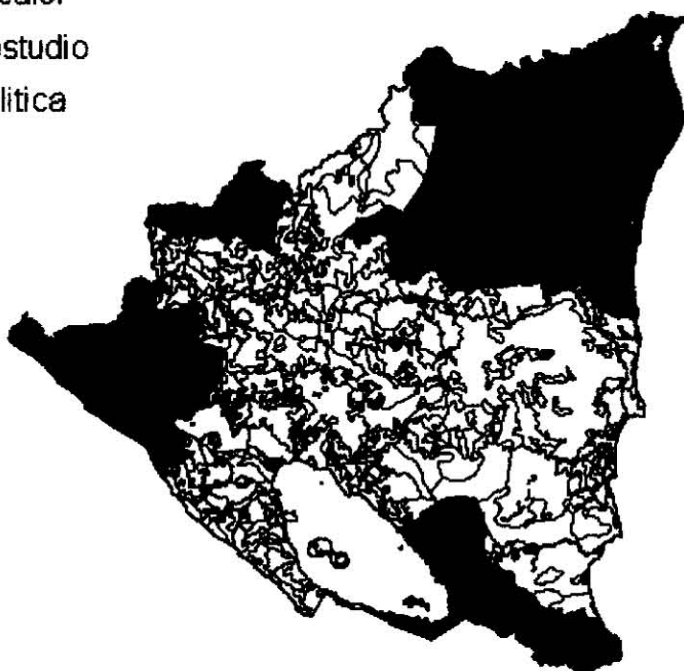





Figura 3. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1997

-  Puntos de calor
-  Zonas de estudio
-  Division politica

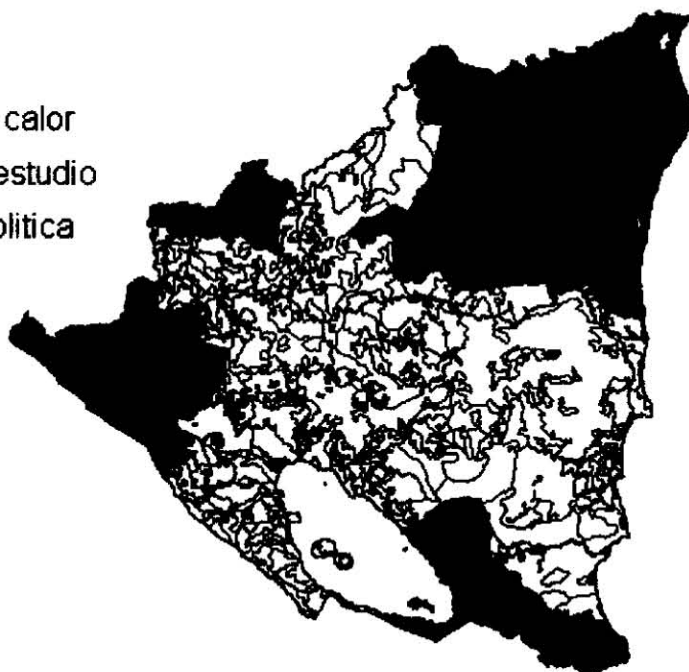


Figura 4. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1998.

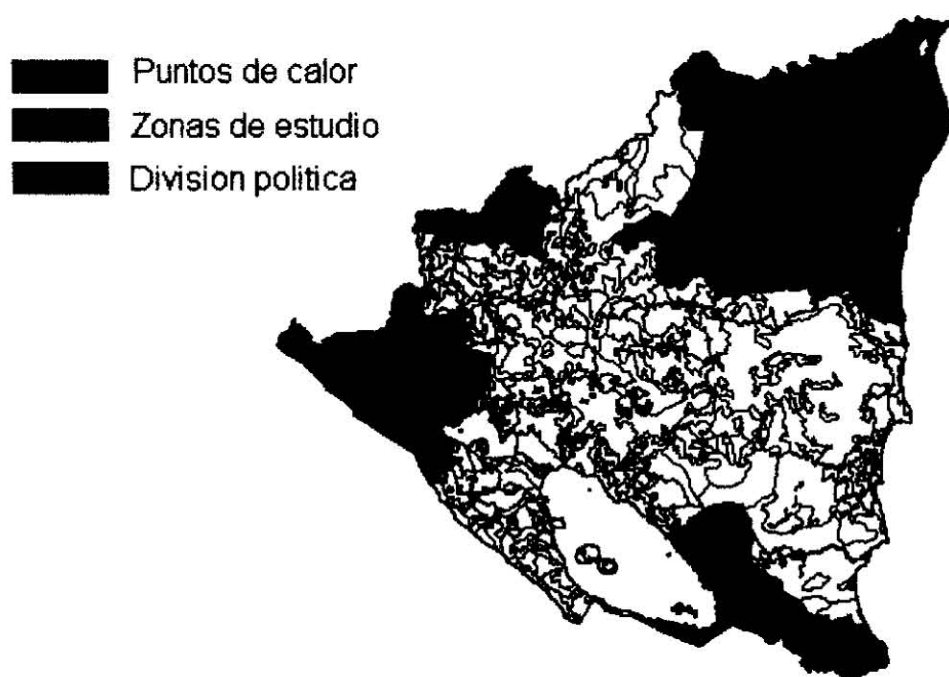


Figura 5. Mapa de puntos de calor en las zonas de estudio para el año 1999.

4.2. Relación entre las variables

Matrices del análisis de correlación para las zonas de estudio.

Los Maribios	Pearson Correlación	DI	1.000					
		PP1	-.329	1.000				
		PP2	-.309	.996(**)	1.000			
		PP3	-.180	.887(**)	.892(**)	1.000		
		T1	.010	-.537(*)	-.559(*)	-.645(**)	1.000	
		T2	-.341	.025	-.007	-.227	.791(**)	1.000
		T3	-.408	.230	.202	-.068	.643(**)	.966(**)
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	
Nueva Segovia	Pearson Correlación	DI	1.000					
		PP1	-.147	1.000				
		PP2	-.174	.986(**)	1.000			
		PP3	-.235	.953(**)	.958(**)	1.000		
		T1	.427	.157	.170	.098	1.000	
		T2	.289	.485(*)	.507(*)	.427	.906(**)	1.000
		T3	.178	.674(**)	.665(**)	.612(**)	.820(**)	.979(**)
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	
Nueva Segovia	Pearson Correlación	DI	1.000					
		PP1	-.283	1.000				
		PP2	-.313	.959(**)	1.000			
		PP3	-.463(*)	.728(**)	.787(**)	1.000		
		T1	.667(**)	-.111	-.219	-.485(*)	1.000	
		T2	.519(*)	.206	.114	-.243	.906(**)	1.000
		T3	.344	.362	.258	-.061	.820(**)	.979(**)
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	

* Correlación es significativa al 95%

**Correlación es significativa al 99%

Rio San Juan

	Oeste	Pearson Correlación						
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	T3
		1.000						
		-.179	1.000					
		-.280	.966(**)	1.000				
		-.461(*)	.754(**)	.872(**)	1.000			
		.626(*)	-.113	-.303	-.534(*)	1.000		
		.468	.035	-.069	-.284	.944(**)	1.000	
		.369	.023	-.034	-.181	.873(**)	.979(**)	
	Este	Pearson Correlación						
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	T3
		1.000						
		-.345	1.000					
		-.396	.843(**)	1.000				
		-.414	.613(**)	.853(**)	1.000			
		.629(*)	-.119	-.421	-.645(*)	1.000		
		.503	.087	-.179	-.460	.944(**)	1.000	
		.437	.084	-.083	-.414	.873(**)	.979(**)	

RAAN

	Oeste	Pearson Correlación						
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	T3
		1.000						
		-.333	1.000					
		-.453	.913(**)	1.000				
		-.661(**)	.683(**)	.881(**)	1.000			
		.546(*)	.030	-.154	-.374	1.000		
		.373	.329	.129	-.109	.922(**)	1.000	
		.329	.375	.182	-.022	.849(**)	.978(**)	
	Este	Pearson Correlación						
		DI	PP1	PP2	PP3	T1	T2	T3
		1.000						
		-.327	1.000					
		-.473(*)	.947(**)	1.000				
		-.659(**)	.675(**)	.810(**)	1.000			
		.698(**)	.015	-.232	-.549(*)	1.000		
		.535(*)	.333	.069	-.297	.922(**)	1.000	
		.501(*)	.412	.148	-.206	.850(**)	.978(**)	

* Correlación es significativa al 95%

**Correlación es significativa al 99%

Como se observa en las matrices, se presentan mejores correlaciones entre la variable de densidad de incendios y las variables precipitación acumulada para tres meses y temperatura de un mes.

Se procedió a graficar los valores de densidad de incendios con los valores de precipitación acumulada para tres meses y con los valores de temperatura de un mes para observar que comportamiento tenían. A continuación se presentan los gráficos para una de las zonas.

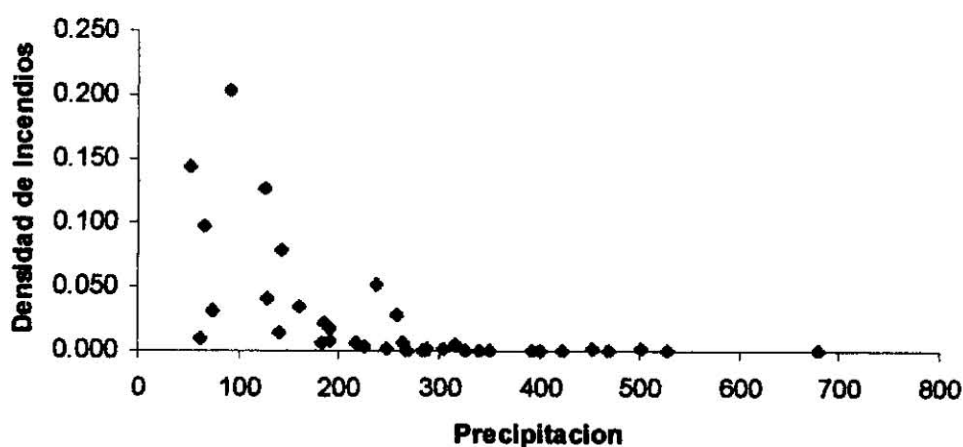


Figura 6. Gráfico de relación de la densidad de incendios y precipitación acumulada para tres meses en la RAAN.

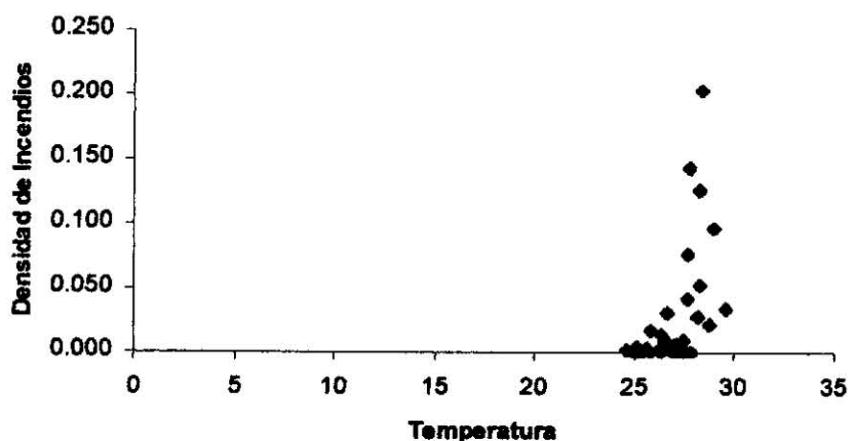


Figura 7. Gráfico de relación de la densidad de incendios y temperatura para la RAAN.

Puede observarse que el comportamiento no es lineal por lo que se decidió trabajar con los valores del logaritmo de la densidad de incendios y se procedió nuevamente a correr las correlaciones con esta nueva variable.

A continuación se presentan los resultados del análisis de correlación realizados para las zonas de estudio.

Matrices del análisis de correlación para las zonas de estudio.

Nueva Segovia	Los Maribios	Pearson Correlación	LNDI	1.000	
			PP1	-.263	-.329
			PP2	-.243	-.309
			PP3	-.115	-.180
			T1	.019	.010
			T2	-.272	-.341
			T3	-.328	-.408
				LNDI	DI
	Oest	Pearson Correlación	LNDI	1.000	
			PP1	-.149	-.147
			PP2	-.152	-.174
			PP3	-.228	-.235
			T1	.692(**)	.427
			T2	.564(*)	.289
T3			.438	.178	
			LNDI	DI	
Este	Pearson Correlación	LNDI	1.000		
		PP1	-.310	-.283	
		PP2	-.391	-.313	
		PP3	-.610(**)	-.463(*)	
		T1	.818(**)	.667(**)	
		T2	.684(**)	.519(*)	
		T3	.542(*)	.344	
			LNDI	DI	

* Correlación es significativa al 95%

**Correlación es significativa al 99%

Rio San Juan	Oeste	Pearson Correlación	LNDI	1.000	
			PP1	-.018	-.179
			PP2	-.195	-.280
			PP3	-.494(*)	-.461(*)
			T1	.691(**)	.626(*)
			T2	.452	.468
			T3	.273	.369
	Este	Pearson Correlación	LNDI	1.000	
			PP1	-.352	-.345
			PP2	-.528(*)	-.396
			PP3	-.576(**)	-.414
			T1	.768(**)	.629(*)
			T2	.588(*)	.503
			T3	.374	.437
RAAN	Oeste	Pearson Correlación	LNDI	1.000	
			PP1	-.481	-.333
			PP2	-.689(**)	-.453
			PP3	-.834(**)	-.661(**)
			T1	.694(**)	.546(*)
			T2	.525(*)	.373
			T3	.445(*)	.329
	Este	Pearson Correlación	LNDI	1.000	
			PP1	-.485(*)	-.327
			PP2	-.657(**)	-.473(*)
			PP3	-.866(**)	-.659(**)
			T1	.688(**)	.698(**)
			T2	.483(*)	.535(*)
			T3	.423	.501(*)

* Correlación es significativa al 95%

**Correlación es significativa al 99%

En los casos en que los resultados de las correlaciones entre las variables precipitación y temperatura son significativas pueden ser atribuibles a que el período evaluado corresponde

con la estación climática más seca y a la vez más caliente en las zonas, por tanto se encuentra una correlación significativa e inversa entre dichas variables, además se asume que los factores topográficos no son determinantes en el comportamiento de estas variables en las zonas donde se realizó el estudio.

En áreas que se consideran montañosas la relación entre las variables temperatura y precipitación fue no significativa por lo cual se asume que el factor topográfico tiene más relación con estas variables.

A como lo reflejan la mayoría de los resultados la variable incendios está muy relacionada con la variable precipitación de forma inversa y esto puede explicarse con base en el índice de peligrosidad de incendios que considera entre sus elementos a la humedad relativa del ambiente y a la cantidad de humedad del material combustible que a su vez dependen de la cantidad de precipitación acumulada en determinado período de tiempo.

De igual manera se observa que la temperatura está altamente relacionada de forma directa con la variable incendio, lo que se explica bajo el principio de que a mayor temperatura hay mayor facilidad de combustión, aunado a la condición de peligrosidad por las bajas precipitaciones y determinado por las relaciones existentes entre precipitación y temperatura que se presentan en la mayoría de las áreas.

En los casos en que la variable incendio no tiene relación con las variables climáticas estudiadas, podemos aducir que los incendios están más relacionados con la ocurrencia humana que con el clima.

Conforme se hizo el análisis de correlación entre todas las variables en los diferentes niveles de estudio se observó que mientras más localizado fuese el análisis los índices de correlación generalmente fueron más altos para casi todas las variables. Este aumento entre los índices puede ser explicado por el hecho de que a menor área de estudio se pueden encontrar menos factores de variación y a la vez los datos climáticos y de incendios son más representativos de dicha área.

4.3. Análisis de la ocurrencia de incendios en función de la Temperatura y Precipitación

Al querer explicar la ocurrencia de incendios forestales en dependencia de los factores climáticos temperatura y precipitación, se hizo el análisis de regresión.

Tomando en consideración los resultados presentados en el análisis de correlación se decidió realizar las regresiones utilizando como variable dependiente el logaritmo de la densidad de incendios y como variables independientes la PP₁, PP₂, PP₃, T₁, T₂ y T₃. La regresión se realizó introduciendo las variables explicativas (paso a paso) para cada uno de los 7 cuadrantes y los resultados en la mayoría de los casos fue que se utilizaban en el modelo la PP₃ y T₁ para explicar la variable dependiente.

Tabla 2. Resultados del análisis de regresión por el método “stepwise”.

			Unstandardized Coefficients	Sig.
Model			B	
Nueva Segovia	Oeste	1 C	-18.291	.002
		T1	.825	.001
		C	-19.818	.000
		2 T1	.913	.000
		PP3	-0.009405	.021
		1 C	-24.324	.000
	Este	T1	1.101	.000
		C	-18.179	.001
		2 T1	.899	.000
		PP3	-0.001009	.011

Variable Dependiente: LnDI

Continuación Tabla 2.

		Unstandardized Coefficients		Sig.
		Model	B	
Rio San Juan	Oeste	1 C	-26.404	.045
		T1	1.101	.030
		2 C	-4.167	.540
		T1	3.004	.000
		T3	-2.771	.001
		3 C	-2.612	.598
		T1	3.599	.000
		T3	-3.446	.000
		PP1	0.005979	.034
	Este	1 C	-25.288	.033
		T1	1.041	.022
		C	-9.987	.326
		2 T1	2.351	.005
		T3	-1.908	.034
		3 C	6.209	.000
		PP3	-0.01702	.000
		C	-13.440	.020
		2 T1	.692	.002
PP3	-0.01369	.000		
Oeste	1 C	4.723	.000	
	PP3	-0.008111	.000	
	C	-6.924	.165	
	2 T1	.421	.026	
	PP3	-0.006546	.000	

Variable Dependiente: LnDI

Tomando en consideración el resultado de la regresión anterior se utilizan las variables PP3 y T1 para correr una nueva regresión y generar un nuevo modelo de regresión para cada cuadrante de las zona de estudio.

Tabla 3. Resultados de la regresión para las zonas de estudio utilizando las variables PP3 y T1.

				Unstandardized Coefficients	Sig.	R ²
Model				B		
Nueva Segovia	Oeste	1	C	-16.280	.001	.576
			PP3	-0.007497	.074	
			T1	.757	.000	
	Este	1	C	-16.874	.002	.750
			PP3	-0.008798	.038	
			T1	.832	.000	
Maribios	1		C	5.028	.565	.018
			PP3	-0.001452	.584	
			T1	-0.07107	.768	
Rio San Juan	Oeste	1	C	-16.277	.121	.604
			PP3	-0.007498	.088	
			T1	.744	.061	
	Este	1	C	-17.373	.080	.671
			PP3	-0.003580	.125	
			T1	.766	.040	
RAAN	Oeste	1	C	-13.440	.020	.860
			PP3	-0.01369	.000	
			T1	.692	.002	
	Este	1	C	-6.924	.165	.816
			PP3	-0.006546	.000	
			T1	.421	.026	

Variable Dependiente: LnDI

Al observar los valores de R² y las probabilidades de error obtenidos, se puede analizar que la variable incendios se explica en gran medida por las variables temperatura y precipitación.

La variabilidad total de los incendios depende de lo que sea (factores ambientales, actividad humana, casualidad, etc) pero de este total observado se logra explicar entre un 25 y 86 % por la precipitación y temperatura.

En este hecho radica la importancia que tendrán la temperatura y la precipitación ante un cambio climático, puesto que los incendios se verán incrementados en frecuencia e intensidad ante las variantes de estos dos factores, tomando en cuenta que para nuestro país se esperan aumentos en las temperaturas y reducciones en las precipitaciones según el estudio de escenarios climáticos realizado por MARENA.

Hay que hacer notar que la temperatura y la precipitación no necesariamente originan los incendios, más bien podríamos decir que prestan las condiciones idóneas para que los incendios se originen con mayor facilidad ante la presencia de un factor de riesgo, que generalmente esta dado por la actividad humana y puede estar presente en mayor o menor proporción en las áreas de estudio.

En el caso de los Maribios la explicación de los incendios por efecto de la temperatura y la precipitación es de 0.018 y la probabilidad de error muy alta por lo cual se rechaza la posibilidad de predecir el fenómeno a través de estos factores. Esta condición puede atribuirse a que la actividad del hombre tiene un mayor efecto sobre esta área por ser menor que las otras bajo estudio aun cuando el efecto de la temperatura y precipitación se mantengan. Otra explicación puede deberse a consistencia y representatividad de los datos meteorológicos ya que estos no corresponden a estaciones meteorológicas localizadas directamente en el área de estudio.

Por otra parte cabe mencionar que este estudio puede tener algún grado de sesgo dado que el período evaluado es corto, que como se explicó previamente responde al hecho de que el monitoreo de incendios con el satélite NOAA apenas inicio en 1996. Adicionalmente hubieron restricciones con los datos climáticos ya que la red meteorológica del país presenta limitaciones. Así mismo el mapa de vegetación empleado no representa exactamente la situación actual de los bosques en Nicaragua.

Con la idea de generar un modelo para predecir los incendios se decidió trabajar con los datos agrupados de tres de las zonas, Nueva Segovia, RAAN y Río San Juan. El no trabajar con los datos de Los Maribios responde al hecho de que en esta zona la ocurrencia de los incendios no se explica significativamente por la precipitación y la temperatura.

El resultado de esto es:

Tabla 4. Modelo de regresión utilizando los datos de Nueva Segovia, Río San Juan y RAAN.

		Unstandardized Coefficients	Sig.	R ²
Model	B			
1	C	-12.453	.000	.605
	PP3	-0.006504	.000	
	T1	.611	.000	

Variable Dependiente: LnDI

Tomando en cuenta que los incendios producidos en RAAN y Río San Juan representaron el 91 % del total estudiado; la similitud de formaciones boscosas entre ambas zonas y que hay otras características como el cambio de uso de la tierra que están experimentando, se decidió realizar una nueva regresión con los datos conjuntos de RAAN y Río San Juan.

El resultado es:

Tabla 5. Modelo de regresión utilizando los datos de Río San Juan y RAAN.

		Unstandardized Coefficients	Sig.	R ²
Model	B			
1	C	-14.018	.000	.640
	PP3	-0.005659	.000	
	T1	.658	.000	

Variable Dependiente: LnDI

Este mismo modelo fue aplicado a los datos reales de temperatura y precipitación y se observó que los valores logarítmicos calculados eran sobreestimados en las densidades bajas y subestimados para las densidades altas, atribuido a la aplicación del logaritmo natural a los valores de densidad de incendios. Ver figura 8.

Comparación de los valores de Logaritmos medidos y calculados

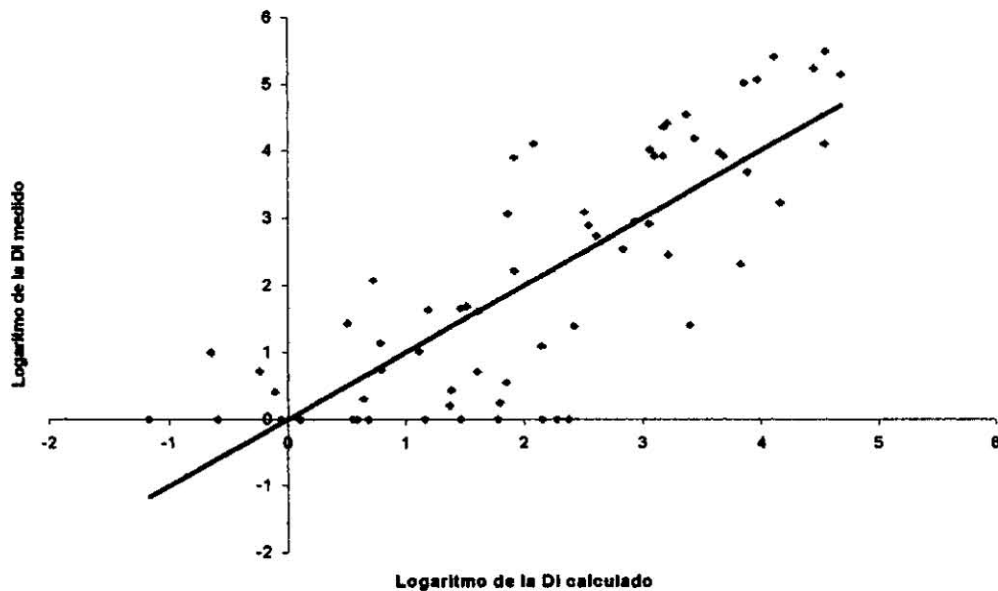


Figura 8. Comparación de los valores de logaritmo

Con la idea de aminorar este sesgo se realizó otra regresión utilizando los datos de la densidad de incendios medida como variable dependiente y la densidad de incendios proyectada, como variable independiente. El modelo generado fue:

Tabla 6. Modelo de regresión generado para corrección de datos.

		Unstandardized Coefficients	Sig.	R ²
Model	B			
1	C	-0.03378	.950	.644
	DIP	1.796	.000	

Variable Dependiente: DI medida

4.4. Aplicación del modelo a los Escenarios Climáticos

Del análisis estadístico realizado anteriormente podemos decir que los incendios están relacionados con la temperatura y la precipitación, y que ante un Cambio Climático habrá cambios en estos dos parámetros, de modo que cabe hacernos la pregunta ¿Que comportamiento tendrán los incendios?

Ante la preocupación por el Cambio Climático, en Nicaragua se hicieron predicciones en los parámetros de precipitación y temperatura para 5 horizontes de tiempo: 2010, 2030, 2050, 2070 y 2100 y de acuerdo a tres escenarios climáticos: pesimista, optimista y moderado.

Basados en estos cambios esperados en los regímenes de precipitación y temperatura, se realizaron predicciones en la densidad de incendios (DI) con los escenarios definidos para la Vertiente del Caribe, utilizando el modelo obtenido de la regresión lineal de los datos conjuntos de Río San Juan y RAAN para prever que incidencia tendrán los incendios a mediano y a largo plazo en estas zonas.

Estas zonas, por la intensa actividad humana en el cambio de uso de la tierra, se consideran vulnerables; vulnerabilidad que se vería incrementada ante el gradual Cambio Climático.

Para aplicar las variaciones esperadas por el Cambio Climático se hizo necesario establecer un período de referencia basado en los datos de precipitación y temperatura de 18 años de 5 estaciones meteorológicas ubicadas en la Vertiente del Caribe. Las estaciones utilizadas fueron Puerto Cabezas, Siuna, El Recreo, San Carlos y El Castillo. Los datos de estas estaciones se procesaron de la misma forma que los datos de los cuatro años de estudio e igualmente se usaron precipitaciones promedio acumuladas para tres meses y temperaturas medias promedio del mes.

A los datos del período de referencia se le aplicaron las variaciones de precipitación y temperatura esperados por los escenarios climáticos, generando de esta forma las precipitaciones y temperaturas supuestas para los horizontes de tiempo ya referidos.

A continuación se aplicó el modelo de regresión lineal elaborado previamente y se obtuvo el resultado de este modelo para cada escenario en cada horizonte de tiempo.

En vista de que la fórmula aplicada da como resultado densidad de incendios para un área de 100 Km², para estimar el número de incendios probables a ocurrir en estas dos zonas de la vertiente del caribe solamente se multiplicó el dato de densidad calculado por el área comprendida por las dos zonas de estudio que suman en total 24,477.97 km² y se dividió entre 100. Ver tabla 4.

Tabla 7. Datos de Densidad de Incendios y Número de Incendios calculados para los escenarios

Escenario	Año	DI proyectada	N° Incendios calculados
Pesimista	1980	6.39494838	1374
	2010	13.3803849	2874
	2030	21.6695138	4654
	2050	36.522493	7844
	2070	60.209906	12932
	2100	207.829132	44637
Optimista	Año	DI proyectada	N° Incendios calculados
	1980	6.39494838	1374
	2010	12.4719338	2679
	2030	18.1774492	3904
	2050	24.9989261	5369
	2070	31.4210562	6749
	2100	36.533629	7847
Moderado	Año	DI proyectada	N° Incendios calculados
	1980	6.39494838	1374
	2010	12.4864481	2682
	2030	18.4289425	3958
	2050	26.0052915	5585
	2070	34.9598484	7509
	2100	49.9173616	10721

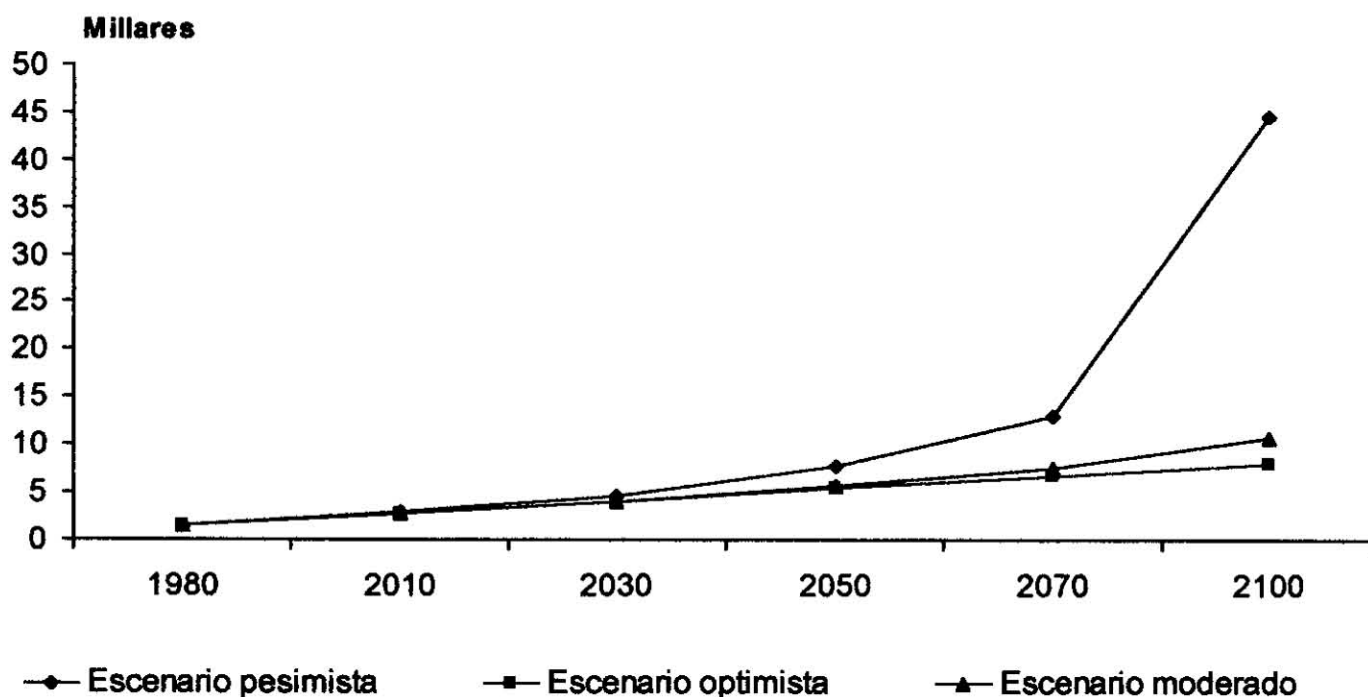


Figura 9. Gráfico de los valores de número de incendios para tres escenarios climáticos

De las proyecciones hechas a través de estos modelos en los diferentes escenarios climáticos para los diferentes horizontes de tiempo se nota la tendencia de aumento de la ocurrencia de los incendios, por la variación climática definida en estos escenarios, lo que sustenta lo planteado en la parte introductoria de este estudio.

Con base en la proyección futura estimada con este modelo puede interpretarse que estas áreas presentarán un alto grado de vulnerabilidad ante los incendios forestales, esto sin tomar en cuenta otros factores de riesgo como la explotación forestal y el cambio del uso de la tierra que no fueron abordados en el estudio.

V. CONCLUSIONES

Con base en la metodología empleada, para el período de estudio se determinó que ocurrieron 11,239 incendios forestales en las áreas seleccionadas, siendo la RAAN donde hubo mayor cantidad.

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que las variables precipitación y temperatura están ligadas a la ocurrencia de incendios forestales y por tanto pueden ser utilizadas para determinar la predisposición de áreas a sufrir incendios sin descontar el efecto que otras variables no estudiadas tengan sobre la ocurrencia de estos fenómenos.

Con este estudio se pudieron obtener datos estimados sobre el número de incendios forestales en determinadas zonas y además se logró sistematizar y documentar la metodología ya existente para lograrlo.

A través del modelo generado aplicado a los diferentes escenarios climáticos, se prevé una tendencia de aumento de los incendios forestales y la vulnerabilidad de las áreas en estudio como un efecto del Cambio Climático.

VI. RECOMENDACIONES

1. Partiendo de que este estudio es apenas una base para futuras proyecciones climáticas se recomienda hacer otros estudios a nivel más amplio para obtener resultados mas representativos a nivel del país.
2. Considerar el empleo del mapa de vegetación que se está actualizando para la realización de futuros estudios de este tipo.
3. Documentar y publicar la metodología ya existente para el procedimiento de las imágenes de satélite que cuantifica el número de incendios forestales.
4. Hacer estudios similares a este pero utilizando como variables independientes a los factores socioeconómicos para hacer las comparaciones respectivas.
5. Tomar en consideración este trabajo y los datos meteorológicos con que se dispone para prever y prevenir incendios forestales a través de campañas y educación dando prioridad a áreas que se consideren más vulnerables.

VII. BIBLIOGRAFIA

- CHANDLER, CRAIG. 1983. Fire in forestry volume i: forest fire behavior and effects. United States of America. John Wiley & sons, inc. 450 pag.
- CIESLA, W. 1997. Manejo de incendios forestales: evaluación de la capacidad actual del país y la necesidad de apoyo adicional 68 pag.
- CIESLA, W. 1996 Cambio climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Roma, fao. 146 pag.
- DUDLEY, N. 1999. TOMADO DE INTERNET
- MARENA, 2000 Escenarios climáticos y socioeconómicos de Nicaragua para el siglo XXI. Managua, Nicaragua. 48 pag.
- PROGRAMA FRONTERA AGRICOLA. 1998 Atlas centroamericano de incendios: las quemaduras e incendios de la temporada 1998 en la región centroamericana. Unión europea/ccad. Panamá.. 46 pag.
- PROYECTO NOAA, MARENA. Fuente de datos de incendios.
- RODRÍGUEZ, D. 1996 Incendios forestales primera edición. Editorial mundi-prensa, México, d.f. 630 pag

ANEXOS

Temperaturas pronosticadas de acuerdo a los escenarios climáticos basados en un período de referencia de 1971-1988

		Horizontes de Tiempo				
	Temperatura de referencia	2010	2030	2050	2070	2100
Escenario Pesimista	24.74	25.54	26.14	26.74	27.34	29.04
	25.17	25.97	26.47	27.07	27.67	29.27
	26.19	26.89	27.39	27.99	28.49	29.99
	26.98	27.78	28.28	28.88	29.48	31.08
	27.58	28.38	28.98	29.58	30.18	31.88
	27.08	27.88	28.38	28.98	29.58	31.28

		Horizontes de Tiempo				
	Temperatura de referencia	2010	2030	2050	2070	2100
Escenario Optimista	24.74	25.44	25.94	26.24	27.54	26.74
	25.17	25.87	26.27	26.67	26.87	27.07
	26.19	26.89	27.19	27.59	27.79	27.99
	26.98	27.68	28.08	28.48	28.68	28.88
	27.58	28.28	28.78	29.08	29.38	29.58
	27.08	27.78	28.18	28.58	28.78	28.98

		Horizontes de Tiempo				
	Temperatura de referencia	2010	2030	2050	2070	2100
Escenario Moderado	24.74	25.44	25.94	26.34	26.64	27.14
	25.17	25.87	26.27	26.67	27.07	27.47
	26.19	26.89	27.29	27.59	27.89	28.29
	26.98	27.68	28.08	28.48	28.88	29.28
	27.58	28.28	28.78	29.18	29.48	29.98
	27.08	27.78	28.18	28.68	28.98	29.38

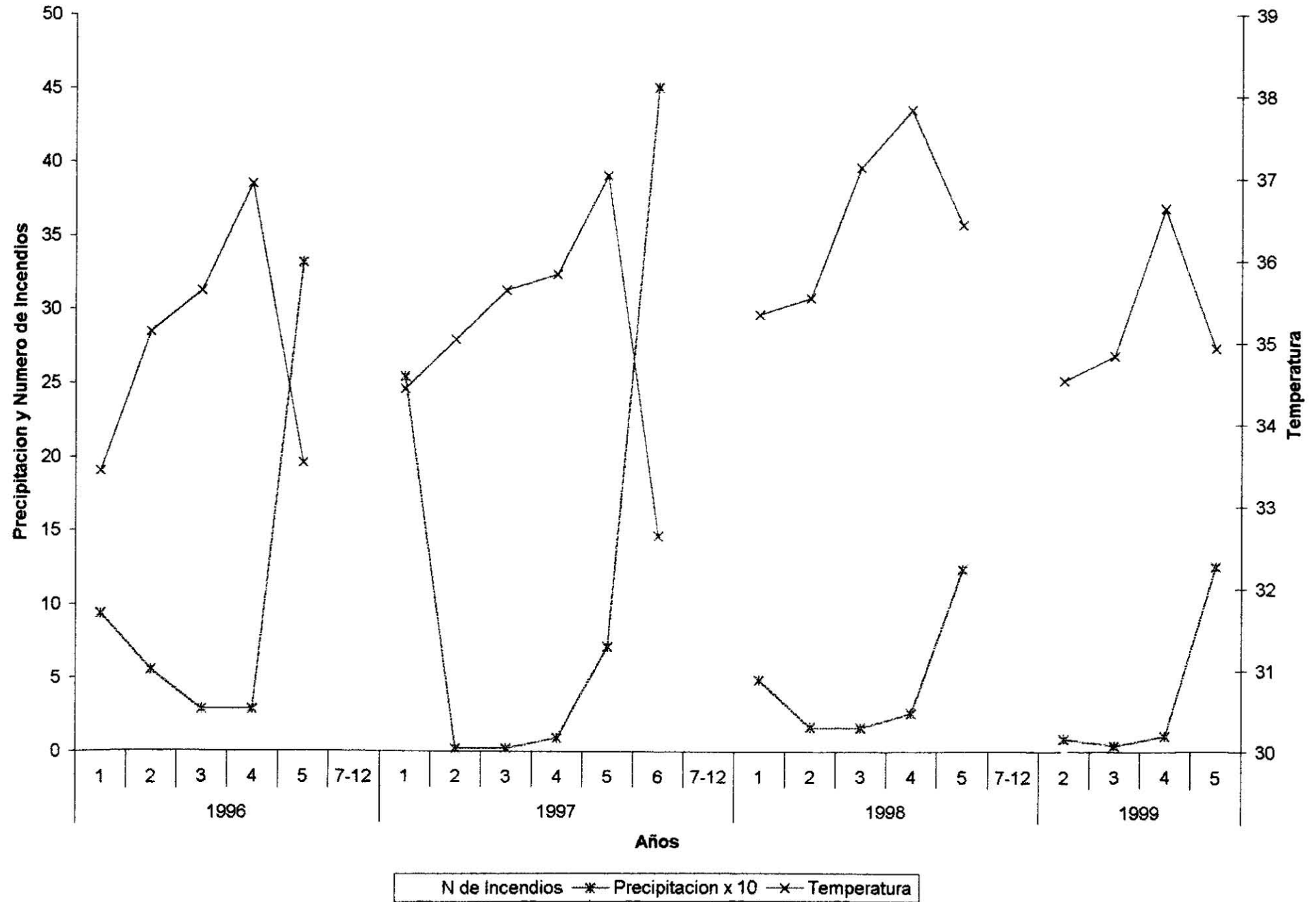
Precipitaciones acumuladas para tres meses pronosticadas de acuerdo a los escenarios climáticos basados en un período de referencia de 1971-1988

		Horizontes de Tiempo				
	Precipitación de referencia	2010	2030	2050	2070	2100
Escenario Pesimista	497.54	440.32	399.52	355.24	312.45	249.76
	338.72	305.52	282.15	256.75	231.68	195.78
	208.53	183.09	165.16	145.55	126.37	98.63
	161.69	144.88	132.91	119.98	107.37	89.09
	264.41	239.03	220.78	201.22	182.18	154.42
	559.97	524.14	498.38	470.38	443.50	404.30

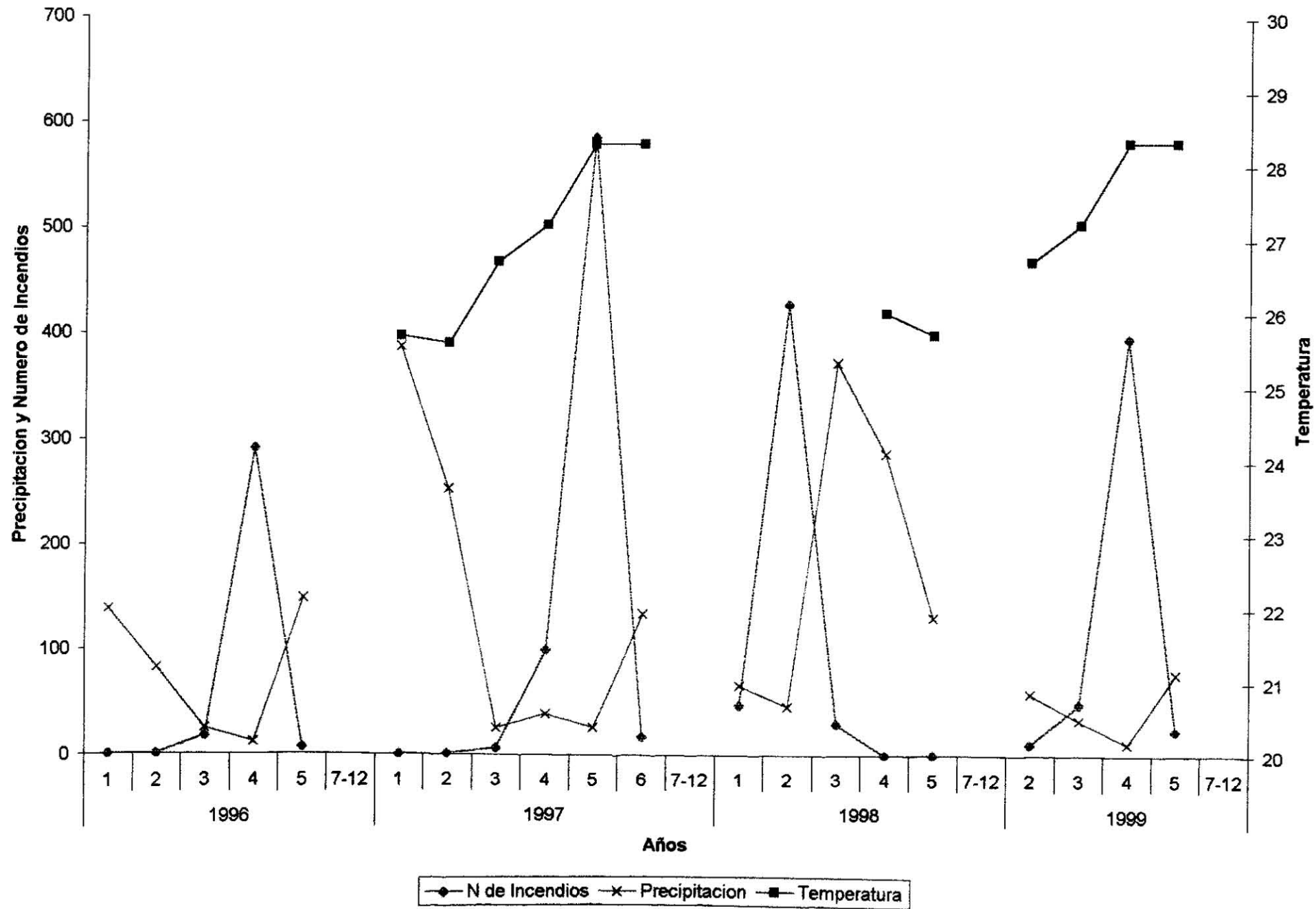
		Horizontes de Tiempo				
	Precipitación de referencia	2010	2030	2050	2070	2100
Escenario Optimista	497.54	444.30	413.95	387.58	369.17	355.24
	338.72	307.89	290.28	275.38	264.54	256.41
	208.53	184.97	171.41	159.73	151.60	145.35
	161.69	146.17	137.12	129.52	124.18	119.98
	264.41	240.88	227.13	215.50	207.56	201.22
	559.97	526.38	507.34	491.10	479.34	470.38

		Horizontes de Tiempo				
	Precipitación de referencia	2010	2030	2050	2070	2100
Escenario Moderado	497.54	444.30	412.96	383.10	358.23	326.38
	338.72	307.89	289.94	272.67	258.10	239.81
	208.53	184.76	170.99	157.86	146.81	153.48
	161.69	146.01	136.79	128.22	120.79	111.57
	264.41	240.62	226.87	213.65	202.54	188.26
	559.97	526.38	508.46	488.30	472.62	452.46

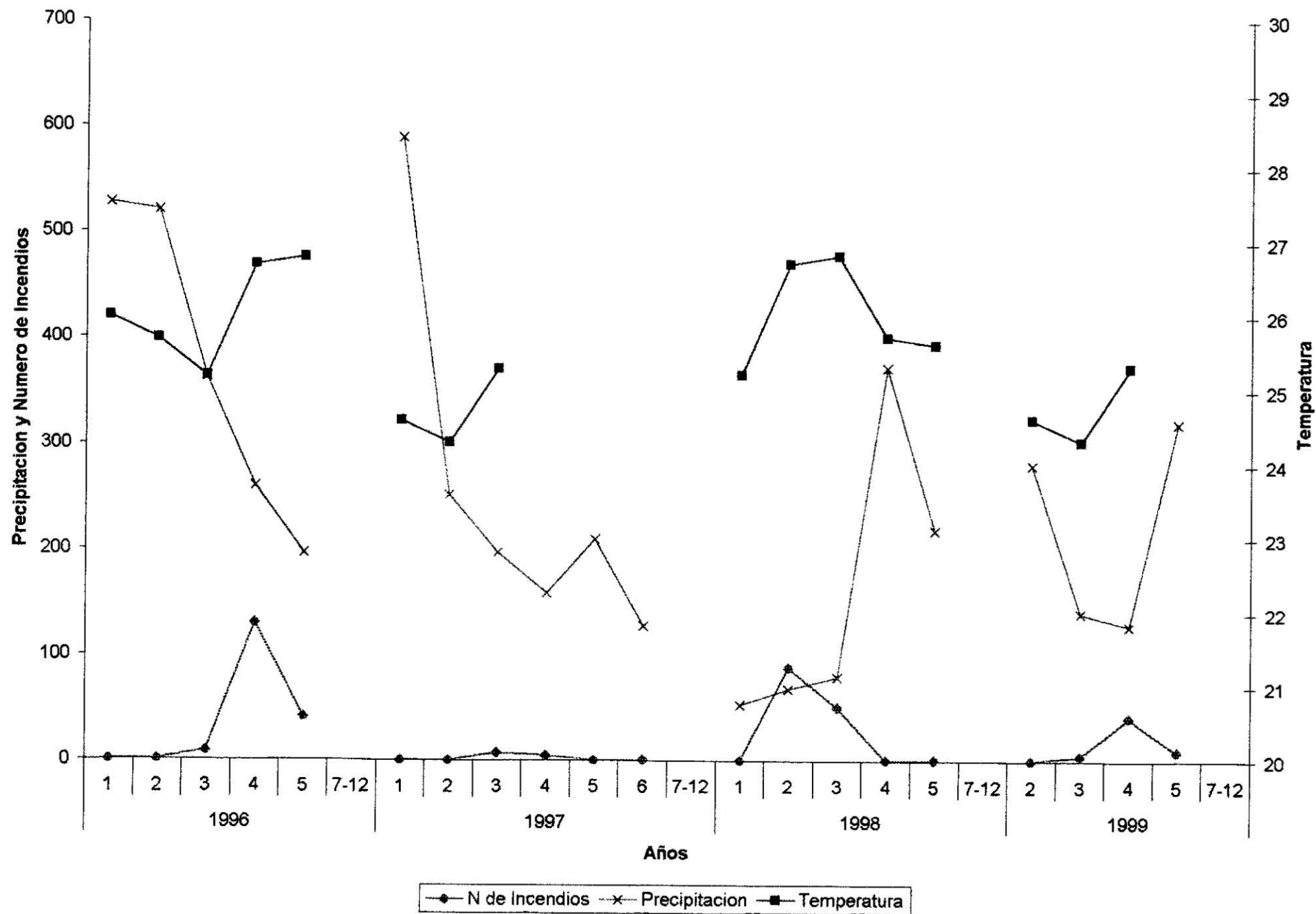
Comportamiento de Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios Los Maribios (1996-1999)



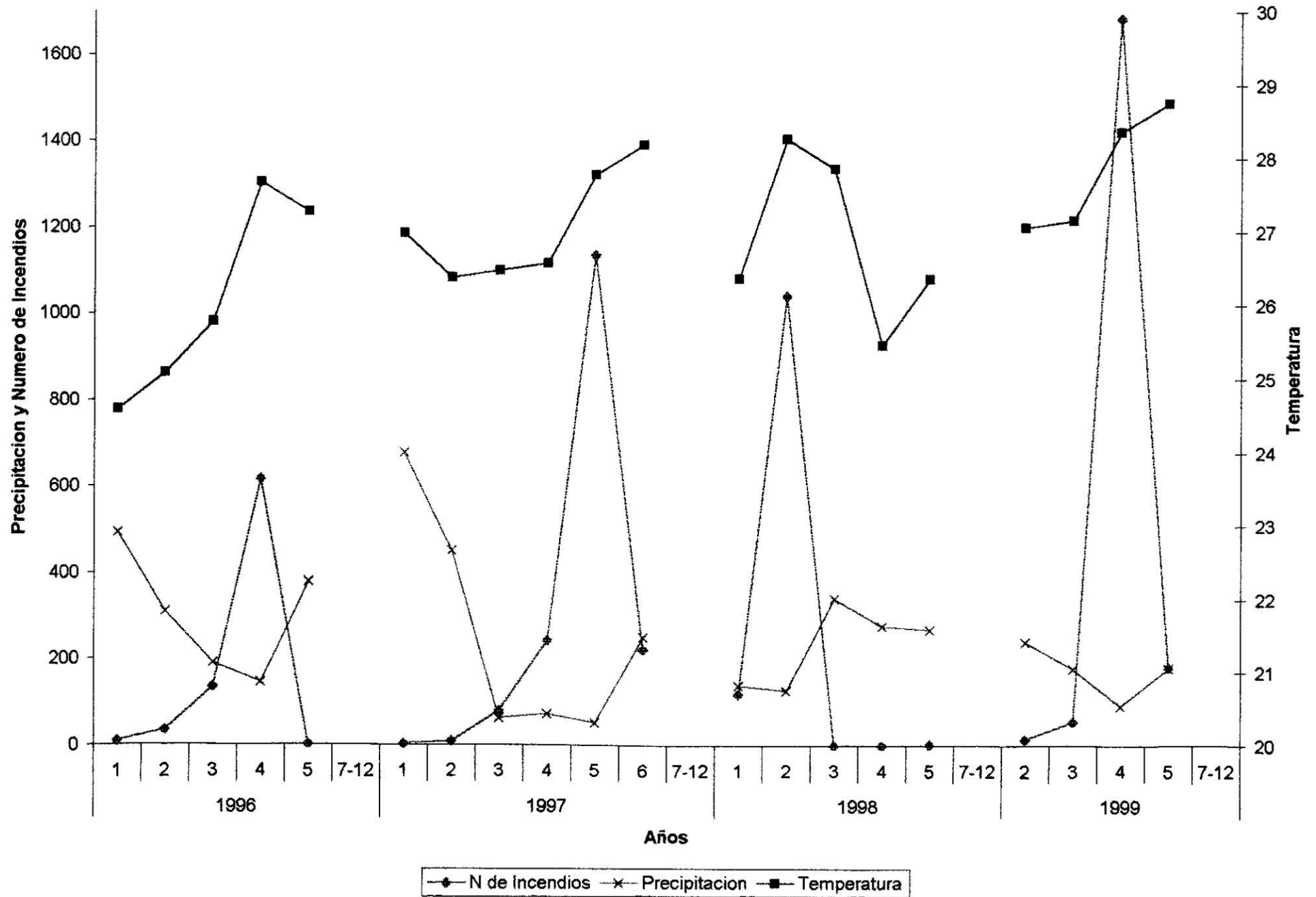
Comportamiento Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios Rio San Juan Este (1996-1999)



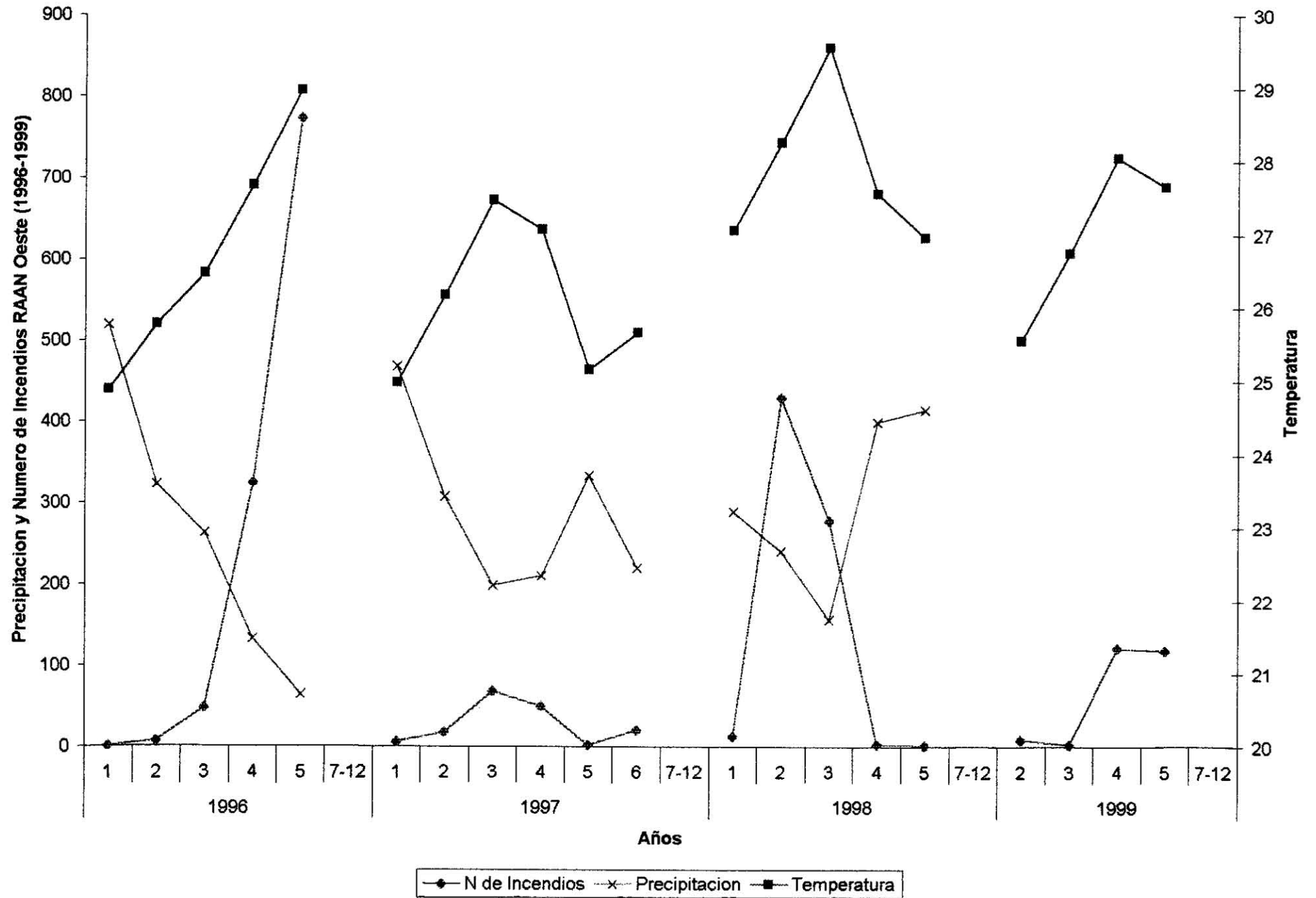
Comportamiento Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios Rio San Juan Oeste (1996-1999)



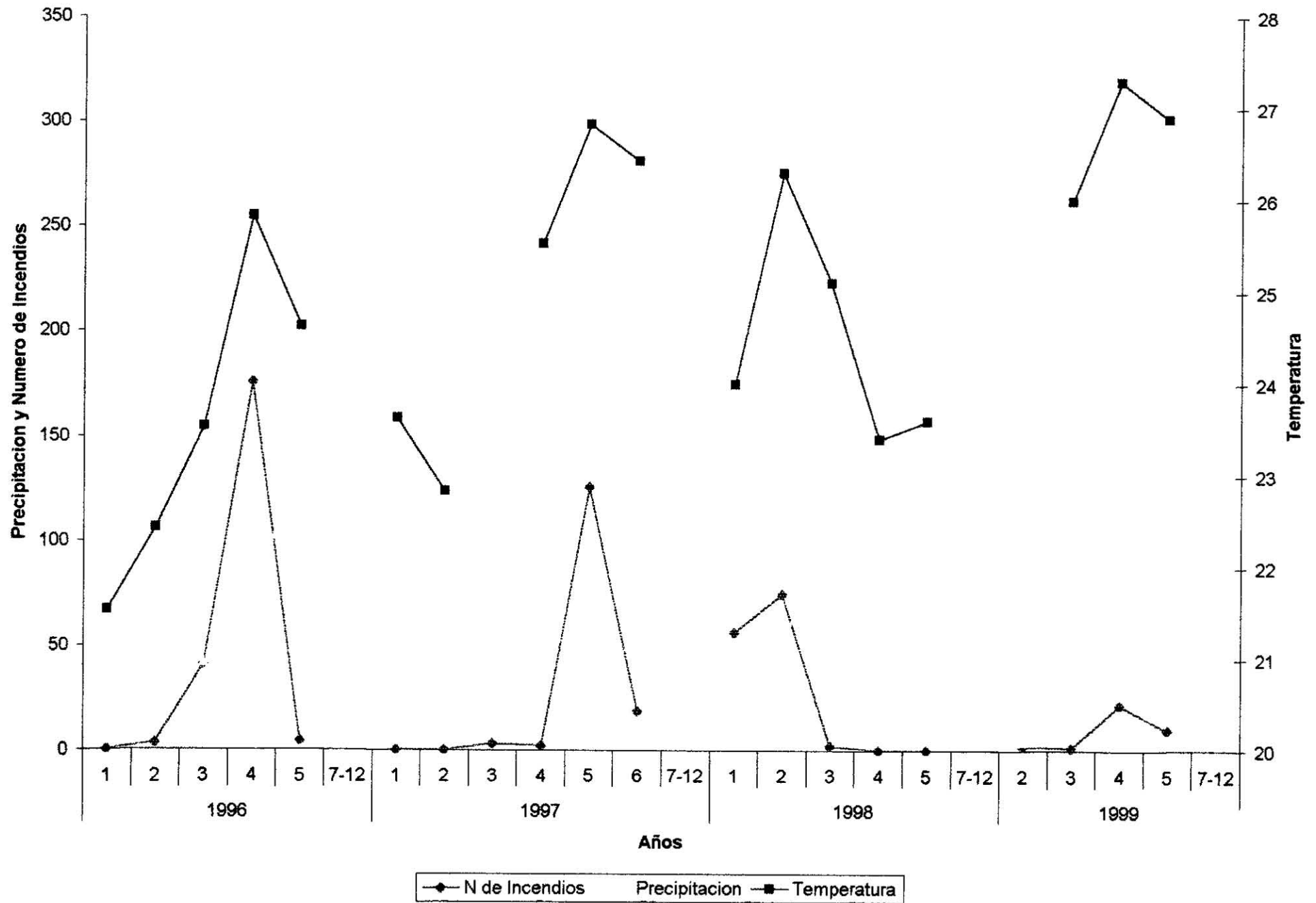
Comportamiento Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios RAAN Este (1996-1999)



Comportamiento Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios RAAN Oeste (1996-1999)



Comportamiento de Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios Nueva Segovia Este (1996-1999)



Comportamiento Precipitación, Temperatura y Numero de Incendios Nueva Segovia Oeste (1996-1999)

